٨- البطاطس:

أمكن انتخاب سلالات خضرية من البطاطس قادرة على إنتاج محصول عالٍ جدًّا من الدرنات في ظروف الحرارة العالية. وفي دراسة قيم فيها ٣١٩ سلالة من ٥٩ نوعًا من الجنس *Solanum* المنتجة للدرنات انتخبت ٦ سلالات من ٤ أنواع كانت قادرة على تحمل حرارة بين ٣٠، و ٤٠°م فيما يتعلق بالنموين الخضرى والدرنى.

٩- القمح:

وجدت اختلافات وراثية بين أصناف وسلالات القمح الربيعى فى ظروف الحرارة العالية، وتميزت السلالات المتحملة بإنتاجها لعدد أكبر من الحبوب بالسنبلة. وفى أقماح الشتاء وجدت اختلافات وراثية فى كل من فلورة الكلوروفيل والثبات الحرارى للأغشية البروتوبلازمية فى ظروف الحرارة العالية. وتبين أن وراثة صفة فلورة الكلوروفيل معقدة ويتحكم فيها عوامل نووية وسيتوبلازمية، مع تفاعلات (Hall ١٩٩٢).

الهندسة الوراثية لتحمل الحرارة العالية

لقد أكدت دراسات الهندسة الوراثية أن القدرة على تحمل الشدِّ الحرارى صفة كمية. وعلى الرغم من أن التحويل الوراثى بجين واحد أكسب النباتات قدرة إضافية على تحمل الشدِّ الحرارى فى ظروف خاصة ومحددة، فإن ذلك التحول لم تظهر له آثار يمكن أن يعوَّل عليها كثيرًا تحت ظروف الحقل.

وتستخدم فى عمليات التحول الوراثى الجينات التى تتحكم فى إنتاج بروتينات خاصة فى النباتات لدى تعرضها للصدمات الحرارية، وهى التى تعرف باسم heat-shock proteins، وتعرف منها أنواعًا كثيرة. ويبين جدول (٥-٣) عددًا من تلك الجينات، والبروتينات التى تتحكم فى إنتاجها، والنباتات التى حولت وراثيًّا بها.

جدول (٥-٣): جينات التحول الوراثى لأجل تحمل الحرارة العاليـــة (عـــن Slater وآخـــرين ٢٠٠٣).

الجين	البروتين الذى يتحكم الجين فى إنتاجه	النبات المحول وراثيًا
AtHSF1	Heat-shock transcription factor HSF1::GUS fusion	*Arabidopsis*
Hsp101	HSP100 class heat-shock protein	*Arabidopsis*
Hsp70	HSP70 class heat-shock protein	*Arabidopsis*
Hsp17.7	SmHSP small heat-shock protein family	الجزر
T1.HS1	Class I smHSP	التبغ

كذلك وجد أن الأغشية البروتوبلازمية للنباتات الراقية تحتوى على تركيز عـال غـير عادى من الـ trienoic fatty acids (أحمـاض دهنيـة بهـا ثـلاث روابـط cis مزدوجـة)، ويزداد تركيز تلك الفئة من الأحماض الدهنية بالأغشية الخلوية للنباتات التى تنمـو فـى الأجواء الباردة. وعندما حوِّلت نباتات التبغ وائيًا، بحيث تم إيقاف عمل الجـين الـذى يشفر لتكوين الإنزيم chloroplast omega-3-fatty acid desaturase، الـذى يعمـل علـى تمثيل الـ trienoic fatty acids .. انخفض تركيز تلك الأحماض منها، وكانت أكثر قدرة على تحمل الحرارة العالية عـن النباتـات التـى لم تُحـوَّل وراثيًـا (Murakami وآخـرون ٢٠٠٠).

ويبين جدول (٥-٤) مزيدًا من حالات التحول الوراثى لتحمل الحرارة العالية.

جدول (٥-٤): بعض حالات التحولات الوراثية لتحمل الشدِّ الحرارى وشدِّ البرودة فى النباتات (عن Iba ٢٠٠٢)

وظائف الجين المنقول	النباتات المحولة وراثيًا	التأثير على تحمل حالات الشدّ البيئى
بروتينات الصدمة الحرارية: **Heat shock proteins**		
Shock transcription factor (ATHSF1)	*Arabidopsis*	تحمل الحرارة العالية
Small heat shock protein (Hsp17.7)	الجزر	تحمل الحرارة العالية
المركبات النشطة فى الأكسدة: **Active oxygen species**		

تابع جدول (٥-٤).

وظائف الجين المنقول	النباتات المحولة وراثيًا	التأثير على تحمل حالات الشدّ البيئي
Mn-superoxide disutase	البرسيم الحجازى	تحمل الحرارة المنخفضة والتجمد
Fe-superoxide dismutase	البرسيم الحجازى	تحمل الحرارة المنخفضة والتجمد
Glutathione S-transferase/Glutathion peroxidase	التبغ	تحمل الحرارة المنخفضة والملوحة
المواد الذائبة المتوافقة: Compatible solutes		
Betaine aldehyde dehydrogenase	الأرز	تحمل الحرارة العالية والمنخفضة والملوحة
Choline oxidase	*Arabidopsis*	تحمل الحرارة العالية والمنخفضة والملوحة
دهون الأغشية الخوية: Membrane lipids		
Glycerol-3-phosphate acyltransferase	التبغ	تحمل الحرارة المنخفضة
Glycerol-3-phosphate acyltransferase	الأرز	تحمل الحرارة المنخفضة
Chloroplast ω-3 fatty acid desaturase	التبغ	تحمل الحرارة العالية والمنخفضة
Endoplasmic reticulum ω-3 fatty acid desaturase	الأرز	تحمل الحرارة المنخفضة
D9 desaturase	التبغ	تحمل الحرارة المنخفضة
منشطات التشفير: Trancriptional factors (activators)		
Transcriptional activator (CBF1)	*Arabidopsis*	تحمل التجمد
Cis-acting promoter element (DREB1A)	*Arabidopsis*	تحمل التجمد والجفاف والملوحة
Zinc finger protein (SCOF-1)	التبغ	تحمل الحرارة المنخفضة
Transcriptional activator (AB13)	*Arabidopsis*	تحمل التجمد